

# Software docente para el reconocimiento de objetos sumergidos fabricados por el hombre mediante el procesamiento de imagen de un sonar de barrido lateral de simple haz

Isabel Zamanillo Sainz de la Maza <sup>(1)</sup>, José María Zamanillo Sainz de la Maza <sup>(2)</sup>,  
Elías Revestido Herrero <sup>(1)</sup>, Francisco J. Velasco Gonzalez <sup>(1)</sup>.

[isabel.zamanillo@unican.es](mailto:isabel.zamanillo@unican.es) , [jose.zamanillo@unican.es](mailto:jose.zamanillo@unican.es) , [elias.revestido@unican.es](mailto:elias.revestido@unican.es) ,  
[franciscojesus.velasco@unican.es](mailto:franciscojesus.velasco@unican.es)

<sup>(1)</sup> Dpto. de Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática (TEISA). Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Náutica C/Gamazo nº 1 39004 Santander, España.

<sup>(2)</sup> Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones (DICO). Universidad Cantabria.  
Plaza de la Ciencia - Avda. de los Castros s/n, 39005 Santander, España.

**Abstract-** The knowledge about digital images provided by onboard sidescan sonar in unmanned undersea vehicles (UUVs), usually, is far away of educational purposes. Our research team demonstrates in previous papers [1] that this target is possible at affordable cost. This communication shows how the educational software developed by our team, have been enhanced in terms of implementation the state of the art in underwater recognition techniques, including manmade submerged objects, to improve the skills of our students. This work shows an economical solution for this problem by using digital image processing techniques under MATLAB environment. Results are comparable in quality with the commercial expensive hardware solutions. The application presented here is easy to use and has been developed under “user friendly” philosophy and could be operated for users at any level.

## I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es fruto de la colaboración entre el grupo de investigación de radiofrecuencia y microondas del departamento de Ingeniería de comunicaciones y del grupo del grupo de investigación de Informática y Automática del departamento de Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática ambos de la Universidad de Cantabria han colaborado de forma activa en el desarrollo de un software que permita procesar las imágenes de un sonar de barrido.

A raíz de la sinergia entre ambos grupos, surgió una versión preliminar del software documentado en [1-3], el cual ha sido tomado como punto de partida para el desarrollo de la nueva herramienta *ImageEasySonarLite* aquí presentada. Entre otros avances, se ha mejorado la interfaz gráfica, añadiéndose nuevos tipos de filtrado y procesamiento de imagen, para finalmente desarrollar un mecanismo semiautomático de detección de objetos sumergidos fabricados por el hombre, de fácil comprensión por los usuarios en formación y operadores de sistemas de sonar. Las herramientas e instrumentación hardware utilizada para la

captura de estos datos se omiten aquí debido a estar descritas con anterioridad en [4-5], con lo cual no serán repetidas aquí.

Siguiendo la línea de anteriores trabajos de control de modelos a escala en superficie aplicados a la docencia en la Licenciatura de Náutica y Transporte Marítimo, en la Licenciatura en Máquinas Navales, así como en la Ingeniería Técnica Naval. Especialidad en Propulsión y Servicios del Buque por parte del grupo de informática y automática [5-6], y debido a la disponibilidad de dos vehículos submarinos no tripulados con capacidad para suministrar datos de primera mano, se ha querido extender, el conocimiento sobre el procesamiento de imagen sonar al entorno educativo. De esta forma, el objetivo principal de este trabajo consiste en que los alumnos puedan interpretar y modificar los resultados obtenidos por estos vehículos submarinos, en términos de imágenes sonar procedentes de un sonar de barrido lateral, por lo cual la aplicación además de ser ágil y de entorno amigable ha de ser sencilla y autoexplicativa en lo referente a su manejo.

Las imágenes sonar obtenidas por estos mecanismos de detección remota se obtienen en color, si bien es cierto que se trata de un color generado artificialmente por el software de captura de datos procedente del sonar de barrido lateral proporcionado por la empresa fabricante del equipo. El color facilita que el ojo humano visualice mejor los detalles y por este motivo en este trabajo se ha empleado una paleta de color en vez de una paleta monocromática.

## II. ESPACIOS DE COLOR UTILIZADOS EN EL PROCESADO

Generalmente, el software de procesamiento de imágenes en color actúa por separado sobre un espacio de color tipo RGB (rojo, verde, azul) puesto que la inmensa mayoría de los equipos que capturan imágenes en color trabajan con el citado espacio de color. El espacio de color RGB se compone de tres capas básicas de colores: la capa roja R, la capa verde G y la capa azul B. Dado que cada capa se procesa por

separado con una profundidad de 8 bits (256 niveles), el tiempo de proceso se suele multiplicar por 3 para el mismo tipo de procesamiento si se compara con una imagen monocroma en escala de grises (256 niveles de gris) o con la capa Y de luminancia de una imagen en color en el espacio  $YCbCr$ . En el espacio de color  $YCbCr$ , la capa Y contiene la información monocromática de la imagen (al igual que la imagen de una fotografía en escala de grises), la capa  $C_b$  corresponde a la crominancia del azul y la capa  $C_r$  llamada crominancia del rojo.

Actuando únicamente sobre la capa Y, dejando las capas  $C_b$  y  $C_r$  sin procesar, se obtiene un resultado similar al que se conseguiría en una imagen RGB estándar procesando cada una de sus capas por separado pero en un tiempo tres veces inferior. Por esta razón y porque las componentes de color no aportan información adicional en cuanto a la resolución de las imágenes, en la nueva versión del software de procesamiento *ImageEasySonarLite* presentada en este trabajo, los autores se han decantado por proceder a la utilización del espacio de color  $YCbCr$ , en vez del RGB para las imágenes procedentes del sonar de barrido lateral. No obstante, el programa permite que el usuario seleccione el espacio de trabajo RGB, o en escala de grises, si lo estima oportuno.

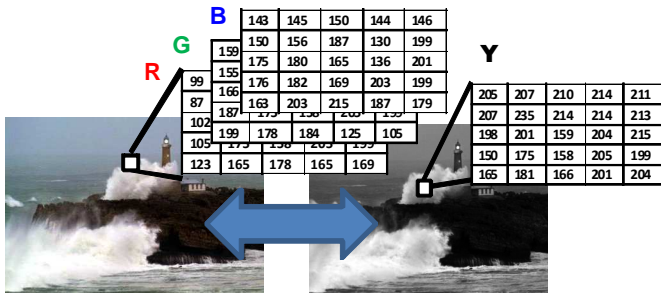


Fig. 1. El cambio de espacio de color RGB al espacio  $YCbCr$  reduce el tiempo de procesamiento tres veces ya que sólo se procesa la capa "Y" (monocromática).

La profundidad de color empleada en las imágenes es de 24 bits (8 bits por capa), y éstas son exportadas directamente de los datos obtenidos por el programa de control del sonar de barrido lateral suministrado por el fabricante y almacenadas en un formato sin pérdidas por compresión, más concretamente el formato TIFF. De este modo se mantiene la calidad de la imagen original tal y como es adquirida con el equipo de detección remota.

### III. LA APLICACIÓN EASYIMAGESONARLITE

La programación de la aplicación se ha realizado bajo un entorno MATLAB, debido en parte a que facilita la obtención de un código sencillo y fácilmente modificable por otros programadores. También se ha empleado este entorno por ofrecer la herramienta GUIDE, que proporciona herramientas para la creación de interfaces de usuario (GUI) la cual se ha empleado con el fin de conseguir un entorno sencillo y amigable para el usuario bajo la filosofía "friendly user".

Se han generado dos programas ejecutables para entornos Windows con el fin de ampliar la difusión del programa, tanto para máquinas que empleen procesadores de 32 bits, como para aquellas que lo utilicen de 64 bits. Además, con el fin de adaptar la resolución de pantalla del

programa al propio ordenador personal utilizado en la simulación, al inicio del mismo se ejecuta de manera automática una función que detecta la resolución de la pantalla y ajusta automáticamente los límites de la misma para maximizar la ventana de menú principal. No obstante, el usuario puede cambiar la resolución a valores típicos manualmente dentro de la aplicación.

Por otra parte la aplicación aquí presentada al igual que la aplicación desarrollada para investigación por nuestro grupo *EasayImageSonar*, [6] dispone de una herramienta de comparación, como se puede ver en la figura 2, la cual resulta de interés a la hora de cotejar las imágenes originales con las imágenes procesadas. Esta herramienta cuenta con un zoom que permite ampliar áreas determinadas, las cuales desde una visión panorámica de la imagen no podrían ser analizadas en detalle.

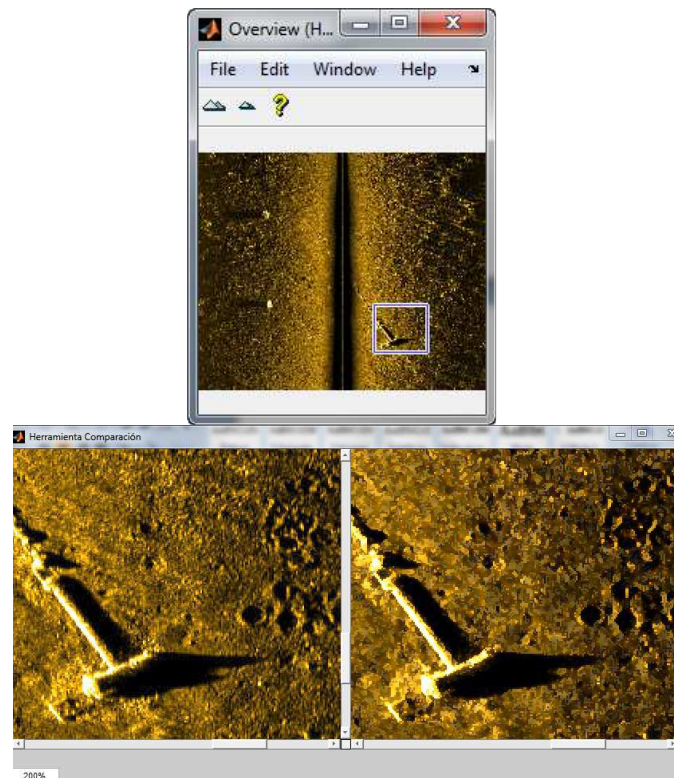


Fig. 2. Herramienta de comparación de WinEasySonarLite

### IV. FILTROS DIGITALES IMPLEMENTADOS EN EASYIMAGESONARLITE

Con motivo de facilitar la detección de objetos presentes en imágenes acústicas, es posible realizar un procesamiento previo a estas imágenes en las que los objetos no estén claramente definidos a causa generalmente del ruido que presentan. La versión anterior del software educativo desarrollado por nuestro grupo [1-3] contaba con 17 tipos de filtros de naturaleza no lineal, como por ejemplo los filtros CS (Compare and Selection), WMMR-MED (Weighted Majority of M values with Minimum Range), Volterra y EDGE. Para todos ellos se ha optimizado el tratamiento del color, y concretamente para los dos primeros, se da la posibilidad de seleccionar tanto el tipo como el tamaño de la ventana de procesamiento, consiguiendo de este modo diferentes resultados dependiendo de la imagen a procesar. Las expresiones matemáticas de estos filtros se hayan extensamente representadas en la literatura [7-15] de modo que se omiten

por brevedad en la presente comunicación. En la presente versión no sólo se han implementado las técnicas mencionadas anteriormente, sino que además se ha añadido el filtro LUM (Lower-Upper-Middle), un filtro selector de rangos que permite lograr además del suavizado de la imagen, una mejora en los bordes y los detalles. Esto se consigue mediante la variación de dos parámetros que influyen directamente en el rango de la salida. Las funcionalidades y expresiones matemáticas que describen el comportamiento del mismo están ampliamente detalladas en la literatura [16].

## V. DETECCIÓN DE OBJETOS HECHOS POR EL HOMBRE

Probablemente, la novedad más interesante desde el punto de vista docente implementada en la versión del software de procesamiento aquí presentada, reside en la detección semiautomática de objetos sumergidos fabricados por la mano del hombre. La detección de este tipo de objetos en imágenes realizadas por sonares, se considera crucial dada la cantidad de aplicaciones que puede tener, desde la localización de pecios, pasando por la detección de fugas en conducciones submarinas, hasta la colaboración en tareas de salvamento de vehículos submarinos tripulados. Dichas características se han tenido en cuenta en el programa a la hora de reconocer objetos realizados por el hombre.

### A. El proceso de Detección de objetos sumergidos

El proceso de detección de los objetos sumergidos fabricados por el hombre cuenta con dos partes diferenciadas. La primera consiste en una segmentación de la imagen, en la cual se subdivide la misma en los distintos objetos o regiones que la forman. La segunda parte consiste en una evaluación de los objetos que por su estructura pueden englobarse como objetos creados por el hombre. En las imágenes sonar, los objetos de interés buscados aparecen como regiones iluminadas sobre otras regiones más oscuras (sombra acústica), o viceversa, tal como se muestra en la figura 3. Por lo tanto, en el proceso de segmentación se deben separar estos dos tipos de regiones del resto.

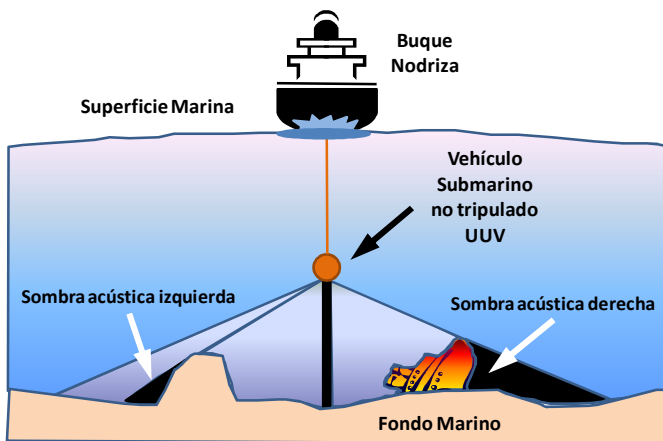


Fig. 3. Sombra acústica provocada en una imagen obtenida por un sonar de barrido lateral cuando se detectan objetos de un determinado volumen.

Para proceder a la realización de este proceso de separación se ha utilizado un método basado en umbrales. Teniendo en cuenta que las imágenes en este punto se procesan en escala de grises (o la capa Y de una imagen en color), con una profundidad de 8 bits (256 niveles de gris) y atendiendo a las numerosas pruebas realizadas, con imágenes de diferente calidad, se ha llegado a la conclusión de

considerar como píxeles iluminados aquéllos cuya intensidad sea superior al nivel 192 de 256, y como píxeles pertenecientes a una zona de sombra aquéllos cuya intensidad sea inferior al nivel 64. De todas formas, el programa permite que el usuario ajuste estos umbrales mediante una barra deslizante que varía de 0 a 255. El ajuste manual se hará dependiendo de la iluminación de la imagen y de la experiencia que tenga el usuario. Una vez realizada esta segmentación, se procede a obtener los rasgos y características de cada uno de los componentes con el fin de detectar su origen.

### B. Características de los objetos sumergidos fabricados por el hombre

En la programación del algoritmo de detección se han tenido en cuenta las directrices propuestas por Ling [17], para los objetos sumergidos fabricados por el hombre, por lo general poseen las siguientes características:

- a) Poseen un cierto tamaño. Si un objeto es muy grande o muy pequeño, probablemente se trate de rocas o de ruido, por tanto, se pueden descartar estas regiones.
- b) La intensidad del objeto difiere de la de su fondo.
- c) Poseen un pequeño número de agujeros. Las regiones con más de dos agujeros serán descartadas.
- d) Poseen un contorno regular. Los objetos hechos por el hombre tienden a tener contornos regulares y/o simétricos.

### C. Resultados

A modo de ejemplo ilustrativo de cómo opera el software desarrollado, se muestra la detección de un ancla sumergida cuya imagen sonar sin procesar se muestra en la figura 2, y los resultados para umbrales de separación estándar, indicados en el epígrafe anterior, de regiones utilizados en el algoritmo de detección de objetos hechos por el hombre en las figuras 4, y 5. No es necesario aplicar un pre-procesado a la imagen de la figura 1, debido a que los bordes y los detalles de la imagen se aprecian con claridad. En la figura 4, recuadrado en AZUL están identificados los objetos que se han detectado como posibles objetos realizados por el hombre para los diversos umbrales, mientras que recuadrado en VERDE están las sombras acústicas de esos objetos.

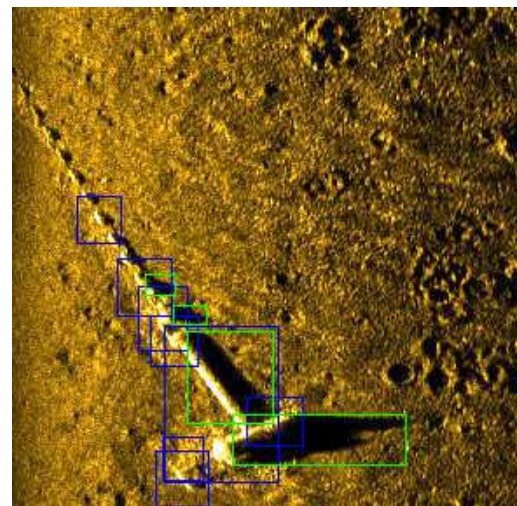


Fig. 4. Ancla de la figura 2 con los umbrales de detección estándar.



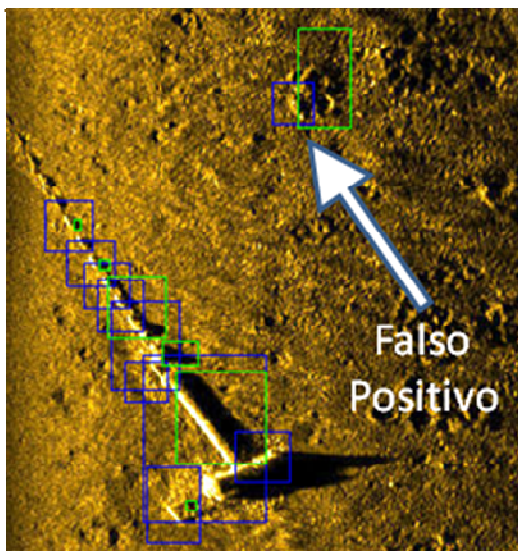


Fig. 5. Ancla de la figura 2 detectada con umbrales de 84 y 173.

En la figura 4, utilizando los umbrales estándar que se han definido, se obtienen unos resultados satisfactorios, localizando adecuadamente las sombras del objeto e identificando el ancla. No obstante el usuario puede acercar o alejar los niveles umbrales hacia los valores extremos mediante una barra deslizante o “slider”, y de esta forma disminuir, o aumentar el número de objetos como ocurre en la figura 5. Esto puede ser muy útil para eliminar falsos positivos, aunque se corre el riesgo de perder información importante.

#### D. Sistema Operativo y Hardware utilizado

Actualmente el sistema de detección requiere la supervisión humana, con el fin de detectar los pequeños errores que pudieran darse en el mismo y por tanto, el proceso es semiautomático. En el futuro se pretende su implementación en tiempo real, debido a que la duración del proceso es reducida en comparación con el tiempo que tarda un sonar de barrido lateral en tomar una imagen de un área del fondo, de este modo, sus posibles aplicaciones se verían incrementadas sustancialmente. Para el desarrollo y la ejecución de esta aplicación se ha utilizado un ordenador personal con las siguientes características técnicas:

- a) Procesador Pentium Dual-Core a 2.2 GHz y 4GB de memoria RAM.
- b) Sistema operativo Microsoft Windows 7 Professional.
- c) MATLAB versión 7.10.0 (R2010a)

El uso de la CPU en reposo se sitúa en torno a un 5%, aumentando hasta aproximadamente un 50% en la ejecución de algún filtrado. El programa cargado en la memoria RAM ocupa aproximadamente unos 150 MB de dicha memoria,

## VI. CONCLUSIONES

Se ha presentado y potenciado una aplicación software para el procesamiento de imágenes obtenidas mediante un sonar de barrido lateral añadiendo mejoras en la interfaz de usuario susceptible de ser utilizada en laboratorios docentes, así como nuevas funcionalidades en relación con las técnicas de filtrado y una herramienta de detección de objetos sumergidos fabricados por el hombre. La herramienta permite procesar las imágenes procedentes de un sonar de

barrido lateral mediante la utilización de técnicas de post-procesado digital de señal. El interfaz es de aspecto agradable, de uso intuitivo y ha sido programado bajo la filosofía “user-friendly”, por lo cual es muy adecuado para ser utilizado por usuarios de cualquier nivel y especialmente en el ámbito docente.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está parcialmente soportado por el Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto DPI2011-27990 y del Ministerio de Defensa a través del proyecto DN8644 coincidente (NVSNTENE).

## REFERENCIAS

- [1] I. Zamanillo, J.M<sup>a</sup> Zamanillo, E. Revestido, F.J. Velasco, “Image easy sonar: software para el procesamiento digital de imágenes sonar con aplicaciones docentes”, XXV Simposium Nacional Unión Científica Internacional de Radio- URSI 2010. Bilbao, Septiembre 2010.
- [2] J. M. Zamanillo, R. Gonzalez, I. Zamanillo, F. J. Velasco. Software de procesamiento de imágenes procedentes de un sonar de barrido lateral en exploración submarina. XXV Simposium de la Unión Científica Internacional de Radio, CD-ROM de actas URSI 2010 Bilbao Septiembre de 2010.
- [3] I. Zamanillo, J. M. Zamanillo, E. Revestido, F. J. Velasco. Image Easy Sonar: Software para el procesamiento digital de imágenes sonar con aplicaciones docentes. XXV Simposium de la Unión Científica Internacional de Radio, CD-ROM de actas URSI 2010 Bilbao Septiembre de 2010.
- [4] J. M. Zamanillo, I. Zamanillo, E. Revestido, F. J. Velasco. Sidescan sonar imagery processing software for underwater research. Proceedings of the IEEE Oceanic Engineering Society OCEANS’11 Santander June 2011
- [5] F. J. Velasco, T. M. Rueda, E. Revestido, and L. A. Esquibel. “Marine vehicles Web-WiFi platform for remote experimentation programmed in Labview”. In ‘ACE 06’ 7<sup>th</sup> IFAC Symposium on Advances in Control Education, 2006.
- [6] I. Zamanillo, J. M. Zamanillo, E. Revestido, F. J. Velasco. “Software para el reconocimiento de objetos sumergidos fabricados por el hombre basado en el procesamiento de imagen procedente de un sonar de barrido lateral de simple haz”. XXVI Simposium de la Unión Científica Internacional de Radio, CD-ROM de actas URSI 2011 Leganés Septiembre de 2011.
- [7] Yong Lee and Adly Fam, An edge gradient enhancing adaptive order statistic filter, Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE Transactions on 35 (5), 680-695 (1987).
- [8] Hardie, R.C. and Boncelet, C., LUM filters: a class of rank-order-based filters for smoothing and sharpening, Signal Processing, IEEE Transactions on 41 (3), 1061-1076 (1993).
- [9] Longbotham, H. and Eberly, D., The WMMR filters: a class of robust edge enhancers, Signal Processing, IEEE Transactions on 41 (4), 1680-1685 (1993).
- [10] Taiho Koh and Powers, E., Second-order Volterra filtering and its application to nonlinear system identification, Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE Transactions on 33 (6), 1445-1455 (1985).
- [11] Uvais Qidwai and C.H. Chen, Digital image processing, An algorithmic approach with MATLAB. Chapman and Hall Textbooks in computing. CRC Press ISBN 978-1-4200-7950-0
- [12] A.D. Poularikas and Z.M. Ramadan, Adaptive Filtering Primer with MATLAB. Taylor & Francis. CRC Press ISBN 0-8493-7043-4.
- [13] J.C. Russ The Image Processing Handbook. 5th Edition. CRC Press ISBN 0-8493-7254-2.
- [14] Canny, John, A Computational Approach to Edge Detection, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-8, No. 6, 1986, pp. 679-698.
- [15] Parker, James R., Algorithms for Image Processing and Computer Vision, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1997, pp. 23-29.
- [16] Hardie, R.C. and Boncelet, C., LUM filters: a class of rank-order-based filters for smoothing and sharpening, Signal Processing, IEEE Transactions on 41 (3), 1061-1076 (1993).
- [17] Ai Ling Chew, Poh Bee Tong and Chin Swee Chia. Automatic detection and classification of Man-made targets in side scan sonar images, Underwater Technology and Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies, 2007.